

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-276172

(43) 公開日 平成10年(1998)10月13日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

H 0 4 J 14/00

H 0 4 B 9/00

E

14/02

M

H 0 4 B 10/02

Y

10/18

10/28

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平9-77998

(22) 出願日

平成9年(1997)3月28日

(71) 出願人 000001214

国際電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(72) 発明者 多賀 秀徳

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際
電信電話株式会社内

(72) 発明者 今井 薫

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際
電信電話株式会社内

(72) 発明者 鈴木 正敏

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 三好 秀和 (外3名)

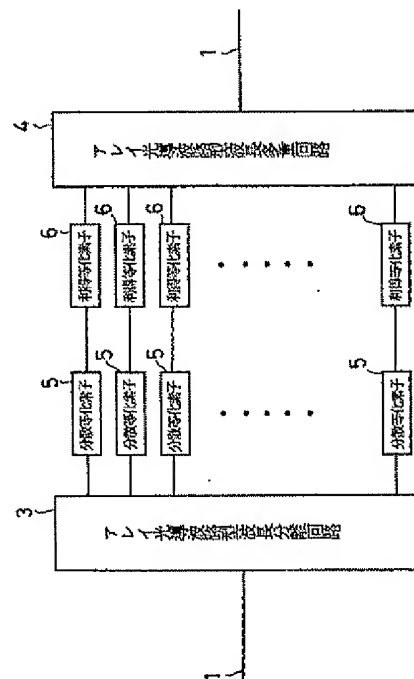
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分割光処理装置およびこの波長分割光処理装置を用いた光通信伝送路

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、分散スロープ補償、利得波長依存性補償、光雑音累積低減を一括して行うことにより波長多重光信号の伝送特性を大幅に改善する波長分割光処理装置およびこの波長分割光処理装置を用いた光通信伝送路を提供することを目的とする。

【解決手段】 1つの光入力端から入力された光信号を分離して多数の光出力端から出力する第1のアレイ光導波路と、この第1のアレイ光導波路で分離された光信号をそれぞれ補正する複数の補正手段と、この補正手段から出力され、多数の光入力端からそれぞれ入力された光信号を多重して1つの光出力端から出力する第2のアレイ光導波路とを備えて構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 1つの光入力端から入力された光信号を分離して多数の光出力端から出力する第1のアレイ光導波路と、

この第1のアレイ光導波路で分離された光信号をそれぞれ補正する複数の補正手段と、

この補正手段から出力され、多数の光入力端からそれぞれ入力された光信号を多重して1つの光出力端から出力する第2のアレイ光導波路とを有することを特徴とする波長分割光処理装置。

【請求項2】 前記第1のアレイ光導波路と第2のアレイ光導波路は、それぞれその透過波長特性の頂部が平坦なフラットトップ形状であることを特徴とする請求項1記載の波長分割光処理装置。

【請求項3】 前記透過波長特性におけるフラットトップ形状が、0.3dB帯域幅が3dB帯域幅の1/3以上であることを特徴とする請求項2記載の波長分割光処理装置。

【請求項4】 前記第1のアレイ光導波路と第2のアレイ光導波路の、透過する波長と阻止される波長のパワーの比である他波長阻止比が、

【数1】 $\text{Rej} \geq (30 + 10 \log_{10} (n-1) + 10 \log_{10} m) / 2 \text{ (dB)}$

(ただし、Rejは他波長阻止比(Rejection)、nは波長多重信号の波長数、mは光通信伝送路中に用いられる分散スロープ補償回路の台数)を満足することを特徴とする請求項1または2記載の波長分割光処理装置。

【請求項5】 前記補正手段は、少なくとも分散スロープ補償、利得波長依存性補償または光雑音累積低減のいずれか一つを行うことを特徴とする請求項1記載の波長分割光処理装置。

【請求項6】 前記補正手段における分散スロープ補償が、光ファイバグレーティングにより行われることを特徴とする請求項5記載の波長分割光処理装置。

【請求項7】 前記補正手段における分散スロープ補償が、1.3μmに零分散波長を有する光ファイバにより行われることを特徴とする請求項5記載の波長分割光処理装置。

【請求項8】 前記補正手段における分散スロープ補償に用いられる光ファイバは、1.3μmに零分散波長を有し、かつその分散量が各信号波長の分散を完全に零にするよりも多く、若干の異常分散を有することを特徴とする請求項7記載の波長分割光処理装置。

【請求項9】 前記補正手段における分散スロープ補償が、1.55μmで大きな正常分散を有する分散補償光ファイバにより行われることを特徴とする請求項5記載の波長分割光処理装置。

【請求項10】 前記補正手段における分散スロープ補償に用いられる分散補償光ファイバの有する分散量が、各信号波長の分散を完全に零にするよりも少なく、かつ

若干の異常分散を残留するものであることを特徴とする請求項9記載の波長分割光処理装置。

【請求項11】 前記補正手段における分散スロープ補償が、1.3μmに零分散波長を有する光ファイバと、1.55μmで大きな正常分散を有する分散補償光ファイバとで行われることを特徴とする請求項5記載の波長分割光処理装置。

【請求項12】 前記補正手段における分散スロープ補償に用いられる1.3μmに零分散波長を有する光ファイバと、1.55μmで大きな正常分散を有する分散補償光ファイバの有する分散量が、各信号波長の分散を完全に零にすることなく、かつ全ての信号波長が異常分散領域にあることを特徴とする請求項11記載の波長分割光処理装置。

【請求項13】 入射される光信号波形が、ノンリターンツーゼロ波形以外の波形であることを特徴とする請求項8乃至12記載の内のいずれか一つに記載の波長分割光処理装置。

【請求項14】 入射される光信号波形が、リターンツーゼロ波形であることを特徴とする請求項13記載の波長分割光処理装置。

【請求項15】 前記リターンツーゼロ波形は、デューティ比が10%以上でかつ80%以下であることを特徴とする請求項14記載の波長分割光処理装置。

【請求項16】 前記リターンツーゼロ波形は、強度比が1.5以上であることを特徴とする請求項14記載の波長分割光処理装置。

【請求項17】 前記リターンツーゼロ波形は、光強度が最大となる時間的な位置が、1ビット分の時間の50%の位置に限定されないことを特徴とする請求項14記載の波長分割光処理装置。

【請求項18】 前記リターンツーゼロ波形は、デューティ比が10%以上でかつ80%以下であること、強度比が1.5以上であること、光強度が最大となる時間的な位置が1ビット分の時間の50%の位置に限定されないことの内、少なくとも2つの特性を有することを特徴とする請求項14記載の波長分割光処理装置。

【請求項19】 前記補正手段における分散スロープ補償について、当該分散スロープ補償が行われる間隔毎の各信号波長における累積異常分散量が、

$$0 < d < 0.1 \times l \text{ (ps/nm)}$$

(ただし、dは分散スロープ補償回路の挿入間隔における分散量、lはkm単位で表した分散スロープ補償回路の挿入間隔、Dは光伝送路全長における分散量、Lはkm単位で表した光伝送路の長さ)を満足し、かつ光通信伝送路全長の伝送後において、

$$0 < D < 0.1 \times L \text{ (ps/nm)}$$

を満足することを特徴とする請求項8乃至12記載の内のいずれか一つに記載の波長分割光処理装置。(ただし、dは分散スロープ補償回路の挿入間隔における分散

量、 l はkm単位で表した分散スロープ補償回路の挿入間隔、 D は光伝送路全長における分散量、 L はkm単位で表した光伝送路の長さ)

【請求項20】 前記補正手段における利得波長依存性補償が、自動出力制御回路を内蔵した光増幅器または光減衰器で行われることを特徴とする請求項5記載の波長分割光処理装置。

【請求項21】 前記補正手段における分散スロープ補償が、利得波長依存性補償より前段で行われることを特徴とする請求項5記載の波長分割光処理装置。

【請求項22】 入射される光信号の基本波形が、当該光信号波長に拘らず全て同一であることを特徴とする請求項2記載の波長分割光処理装置。

【請求項23】 光波長多重信号の伝送に使用する光通信伝送路であって、透過波長特性が平坦なフラットトップ形状をしているアレイ光導波路を用いた波長分割光処理装置が、ある一定周期で伝送路中に挿入されていることを特徴とする光通信伝送路。

【請求項24】 前記光通信伝送路は、当該伝送路中に光増幅器を有することを特徴とする請求項23記載の光通信伝送路。

【請求項25】 前記波長分割光処理装置の挿入間隔が、光増幅器の挿入間隔に等しいか、あるいはその整数倍であることを特徴とする請求項24記載の光通信伝送路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光伝送路で波長多重光信号を伝送したときの、光ファイバ伝送路の分散スロープ、光増幅器の利得波長依存性、光増幅器が発生する光雑音の累積の内の少なくとも1つを補償または低減する波長分割光処理装置およびこの波長分割光処理装置を用いた光通信伝送路に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、異なる波長の光信号を多重した波長多重光信号による光通信が注目されている。この波長多重光信号の光増幅には、例えば光ファイバにエルビウムを添加したエルビウムドープ光ファイバが用いられる。このエルビウムドープ光ファイバを用いた光増幅器は、波長多重光信号を一括して増幅可能であることから、光波長多重通信との親和性が良く、9000kmを越えるような長距離伝送実験も報告されている(参考文献:H.TAGA et al.,OAA'96,PDP5)。このような光増幅器を使用した光ファイバ伝送路を介した長距離波長多重信号伝送においては、伝送特性を劣化させる要因には、光ファイバ伝送路の有する波長分散スロープから生じる信号波長毎に異なる累積波長分散、光増幅器利得の波長依存性、光増幅器雑音の累積等があることが知られる。

【0003】累積波長分散に関しては、受信端で累積量

と逆の符号の波長分散を与えることにより等化し、伝送特性を改善するが、ビットレートが高い場合、あるいは累積量の絶対値があまりにも大きくなってしまった場合には、受信端での等化によって伝送特性の改善を行うことは困難である。また、分散スロープそのものを補償する方法として、波長多重信号を1波長毎に分離し、各波長個別に所要の分散を与えることにより等化的にスロープを打ち消すことは、容易に考え付くが、波長分離素子の特性による伝送劣化の可能性等については、従来から、なんら開示がなされていない。

【0004】光増幅器利得の波長依存性に関しては、利得波長依存性と逆の特性を有する利得等化素子を光増幅器に挿入することにより、広い波長範囲で平坦な光増幅器利得を実現できる(参考文献:P.F.Wysocki et al.,OFC'97,PD2)が、そのような利得等化素子の実現には技術的な困難が伴う。

【0005】光増幅器雑音の累積は、光増幅器を使用するかぎり不可避の物理現象であり、雑音累積を少しでも低減するために、雑音指数の低い高性能の光増幅器が使用される(参考文献:H.TAGA et al.,OAA'96,PDP5)が、高性能の光増幅器はそれだけ高価なものとなり、また励起光源の信頼性が低いという欠点がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記課題に鑑みてなされたもので、従来、波長多重光信号の伝送特性劣化を引き起こす要因である、光ファイバ伝送路の分散スロープ、光増幅器の利得波長依存性、光増幅器が発生する光雑音累積に対して、個別の機能として補償等していた分散スロープ補償、利得波長依存性補償、光雑音累積低減を一括して行うことにより波長多重光信号の伝送特性を大幅に改善する波長分割光処理装置およびこの波長分割光処理装置を用いた光通信伝送路を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】前述した目的を達成するために、本発明のうちで請求項1記載の発明は、1つの光入力端から入力された光信号を分離して多数の光出力端から出力する第1のアレイ光導波路と、この第1のアレイ光導波路で分離された光信号をそれぞれ補正する複数の補正手段と、この補正手段から出力され、多数の光入力端からそれぞれ入力された光信号を多重して1つの光出力端から出力する第2のアレイ光導波路とを有することを要旨とする。

【0008】これにより、第1のアレイ光導波路によって1波長毎に分離されたところで分散補償と利得補償とを行い、第2のアレイ光導波路によって再び全波長を多重する。アレイ光導波路は、通過帯域外では少なくとも20dB程度のリジェクションを有するため、通過帯域以外の光雑音が抑圧され、光雑音累積が低減される。

【0009】また請求項2記載の発明は、第1のアレイ

10

20

30

40

50

光導波路と第2のアレイ光導波路の透過波長特性を頂部が平坦なフラットトップ形状としたものであり、これにより通過帯域以外の光雑音を抑圧しかつ光雑音累積の低減を計ることが可能となる。

【0010】また請求項5記載の発明は、請求項1に記載の前記補正手段が、少なくとも分散スロープ補償、利得波長依存性補償または光雑音累積低減のいずれか一つを行うことを要旨とする。

【0011】これにより、補正手段は、光伝送路が有する分散スロープ補償、光増幅器が有する利得波長依存性補償、および光増幅器が発生する光雑音累積低減のうちの、いずれか1つ以上を行う。

【0012】また、請求項23記載の発明は、光波長多重信号の伝送に使用する光通信伝送路であって、透過波長特性が平坦なフラットトップ形状をしているアレイ光導波路を用いた波長分割光処理装置が、ある一定周期で伝送路中に挿入されていることを要旨とする。

【0013】これにより、波長分割光処理装置として、透過波長特性が平坦なフラットトップ形状のアレイ光導波路型波長多重分離回路を用い、1台目のアレイ光導波路によって1波長毎に分離されたところで分散補償と利得補償を行い、2台目のアレイ光導波路によって再び全波長を多重する。アレイ光導波路は、通過帯域外では少なくとも20dB程度のリジクションを有するため、通過帯域以外の光雑音が抑圧され、光雑音累積が低減される。このような回路を、光増幅器を使用した光伝送路中に複数個挿入し、光波長多重信号の伝送特性を改善する。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る一実施の形態を図面を参照して説明する。図1は本発明に係る波長分割光処理装置の構成を説明するブロック図である。

【0015】図1に示すように、本実施形態の波長分割光処理装置は、光ファイバ1を介して伝送される光波長多重信号を1つの光入力端から入力し、この入力された光信号を分離して多数の光出力端から出力する第1のアレイ光導波路としてのアレイ光導波路型波長分離回路3と、この第1のアレイ光導波路で分離された光信号をそれぞれ補正する複数の補正手段としての分散等化素子5と利得等化素子6と、この利得等化素子6から出力され、多数の光入力端からそれぞれ入力された光信号を多重して1つの光出力端から出力側の光ファイバ1へ出力する第2のアレイ光導波路としてのアレイ光導波路型波長多重回路4とで構成される。

【0016】第1のアレイ光導波路と第2のアレイ光導波路の透過波長特性は、その波形の頂部が平坦なフラットトップ形状であり、また0.3dB帯域幅が3dB帯域幅の1/3以上である(図12参照)。これにより、入力される光波長多重信号をアレイ光導波路型波長分離回路3によって1波長毎に分離し、この分離された光信

号を波長毎に設けられた多数の分散等化素子5により波長毎に分散補償を行い、さらに分散等化素子5に接続される利得等化素子6により波長毎に利得補償を行い、アレイ光導波路型波長多重回路4によって再び全波長を多重する。

【0017】アレイ光導波路型波長分離回路3とアレイ光導波路型波長多重回路4で使用されるアレイ光導波路は、図2に示すように、通過帯域外では少なくとも2dB程度のリジクションを有するため、通過帯域以外の光雑音が抑圧され、光雑音累積が低減される。このような回路を、光増幅器を使用した光伝送路中に複数個挿入し、光波長多重信号の伝送特性を改善する。ここでの光雑音は、光増幅器で光信号を増幅する際に発生するものであり、光増幅器を通過する毎に光雑音も累積されることになる。一方、アレイ光導波路は、通過できる光信号以外の波長の光を30dB以上抑圧することから、光増幅器が光信号にかぶせる光雑音もそれだけ抑圧され、結果的に光雑音累積が低減されることになる。

【0018】また、アレイ光導波路型波長分離回路3とアレイ光導波路型波長多重回路4とは、全く同一のものを使用することができる。すなわち、1つの光入力端

(1ポート)から多数の光出力端(多ポート)へ光を通過させると波長分離に使用でき、多数の光入力端(多ポート)から1つの光出力端(1ポート)へ光を通過させると波長多重に使用できるものである。従って、光入力端を2入力、光出力端を2出力とすることで、容易に双方向通信が可能である。

【0019】分散等化素子5は、分散スロープ補償(等化)を行うものであり、アレイ光導波路型波長分離回路3によって分離された光信号の数だけは設けられる。通常、分散スロープは、光ファイバの波長分散に波長依存性があるという性質であり、波長多重信号を伝送する場合には、波長毎に被る分散量を変化させてしまう(すなわち、波長によって分散量が異なる)ことから問題となる。このため、分散等化素子5では、任意の技術で分散スロープ補償を行い、分散スロープが見掛け上0となるようにして、波長毎に異なる分散量を一定にする。

【0020】利得等化素子6は、利得波長依存性補償を行うものであり、個々に分散等化素子5に直列に接続され、その数は分散等化素子5の数に等しい。通常、光増幅器の増幅特性(利得)には波長依存性があり、波長多重信号を1台の光増幅器で増幅させると、利得の高い波長と低い波長が存在することになってしまう。これを防止するために、利得の高い波長には光減衰器等により減衰を与え、利得の低い波長には自動出力制御回路を内蔵した光増幅器により、さらに利得を与え、波長間の利得偏差が無くなるように利得波長依存性補償を行う。

【0021】図3に本発明を実施した場合の第1の実施形態を示す。光波長多重信号を伝送する光ファイバ1に所定長毎に光増幅器2が設けられ、さらに長い所定長毎

に波長分割光処理装置12が設けられる。この波長分割光処理装置12は、波長多重信号分離用のアレイ光導波路型波長分離回路3、波長多重信号多重用のアレイ光導波路型波長多重回路4、及び多数の分散等化素子5、利得等化素子6により構成される。図中、分散等化素子5及び利得等化素子6に付された添字は、波長多重信号のチャンネル番号を示す。本実施形態では、 n 波長の信号が1本の光ファイバに多重化されて光増幅伝送路を伝送している。

【0022】また、アレイ光導波路型波長分離回路3、アレイ光導波路型波長多重回路4、分散等化素子5及び利得等化素子6で構成される波長分割光処理装置12は、ある一定の中継器台数(m とする)ごとに繰り返し挿入される。 n 波長多重信号は、アレイ光導波路型波長分離回路3で1波長ずつに分離され、分散等化素子5、利得等化素子6によって分散等化および利得等化を施された後、アレイ光導波路型波長多重回路4で再び n 波長多重化される。分散等化素子5の分散等化用デバイスとしては、 $1.3\mu\text{m}$ に零分散波長を有する通常の光ファイバ、 $1.55\mu\text{m}$ で大きな正常分散を有する特殊な光ファイバ(通称分散補償ファイバ)、周波数(波長)依存性のある遅延を与える光ファイバグレーティング等が使用可能である。利得等化素子6の利得等化用デバイスとしては、損失を与える光アッテネータ、利得を与える光増幅器等が使用可能である。なお、分散等化素子5、利得等化素子6のそれぞれに一例として示したデバイスを組み合わせて使用することも可能であるし、分散等化素子5あるいは利得等化素子6の片方のみを用いて、分散スロープ等化回路もしくは利得等化回路としてのみの機能をさせることも可能である。

【0023】図2に、アレイ型光導波路を光多重分離回路として用いた場合の特性の一例を示す。この例では、波長 1553.2nm の信号のみを通過させ、その他の波長の光は 30dB 以上の抑圧比でブロックする。従って、信号波長付近以外に存在する光雑音は 30dB 抑圧されることとなり、それだけ光雑音累積が低減される。

【0024】図4に本発明を実施した場合の第2の実施形態を示す。

【0025】本実施形態では、 10 台の 10Gb/s の光送信器7を用い、 10 波長多重化した 10Gb/s の光信号伝送実験を実際に行った。光ファイバケーブル8は、 10 台の 10Gb/s の光送信器7からの光信号を多重化する。光増幅中継器9に接続される分散シフト光ファイバ10は 40km 長であり、光ファイバ11は 49km 長の $1.3\mu\text{m}$ に零分散波長を有する通常の光ファイバである。また波長分割光処理装置12は、分散スロープ補償、利得波長依存性補償、光雑音累積低減を行う。また、光フィルタ13は光信号を分離し、光受信器14は 10Gb/s の光受信器である。

【0026】 $1.3\mu\text{m}$ 零分散ファイバ11は、分散シフトファイバ10の8スパン毎(320km)に挿入され、波長分割光処理装置12は、分散シフト光ファイバ10と $1.3\mu\text{m}$ 零分散ファイバ11で構成される周期(369km)の2周期毎(738km)に挿入されている。分散シフト光ファイバ10と $1.3\mu\text{m}$ 零分散ファイバ11で構成される光ファイバ伝送路の零分散波長は、 10 波長の光信号帯域のほぼ中央に設定した。

【0027】図5に、波長分割光処理装置12が挿入されない場合の各波長における累積波長分散量の距離依存性を示す。零分散付近の波長では累積量は小さいが、両端に近づくにしたがって大きくなってしまっていることがわかる。

【0028】図6に、波長分割光処理装置12を挿入した場合の各波長における累積波長分散量の距離依存性を示す。図5とは異なり、全ての信号波長でほぼ零分散となっていることがわかる。

【0029】図7に、波長分割光処理装置12が挿入されない場合の各信号波長の符号誤り率の距離依存性の測定結果、図8に、波長分割光処理装置12を挿入した場合の各信号波長の符号誤り率の距離依存性の測定結果を示す。図8では、 10 波長全てで、 6000km 以上の距離にわたって 10^{-9} 以下の符号誤り率を達成できているのに対し、図7では、累積分散がほぼ零となる零分散付近の信号では図8と同等の 6000km 以上の距離で 10^{-9} 以下の符号誤り率を達成できているが、分散スロープの影響で累積分散が大きくなる信号帯域の両端に近づくに従って、 10^{-9} 以下の符号誤り率を達成できる距離が短くなってしまっていることがわかる。

【0030】図9に、波長分割光処理装置12が挿入されない場合の 6642km 伝送後の光スペクトル、図10に、波長分割光処理装置12を挿入した場合の 6642km 伝送後の光スペクトルを示す。図9と図10の比較から、波長分割光処理装置12を挿入したことにより光信号帯域外の光雑音累積が効果的に抑圧されていることがわかる。

【0031】これらのことから、波長分割光処理装置12の分散スロープ補償、利得波長依存性補償、光雑音累積低減回路の効果は、波長多重信号伝送にとって顕著であることが証明された。

【0032】本実施形態の光通信伝送ではリターンツーゼロ波形と異常分散領域を利用しているが、これは光ソリトン効果を若干得ることで波形歪みを少なくするためである。ノンリターンツーゼロ波形と異なり、光ソリトンでは分散量に応じて波形が変化して、分散量に対するトレランスがあるのに対し、ノンリターンツーゼロ波形では、分散量を極端に大きくすると波形が広がってしまうことから上限が生じる。そのため、本実施形態においては、いわゆる分散スロープ補償回路である分散等化素子5による分散スロープ補償について、当該分散スロープ

補償の行われる間隔毎の各信号波長における累積異常分散量が、式(2)を満足し、かつ光通信伝送路全長の伝送後において、式(3)を満足することを条件としている。

【0033】

$$0 < d < 0.1 \times l \text{ (ps/nm)} \quad \text{式(2)}$$

$$0 < D < 0.1 \times L \text{ (ps/nm)} \quad \text{式(3)}$$

(ただし、dは分散等化素子5の挿入間隔における分散量、lはkm単位で表した分散等化素子5の挿入間隔、Dは光伝送路全長における分散量、Lはkm単位で表した光伝送路の長さ)また、本実施形態の光通信伝送実験では、実験的に波形を変化させてみたところ下記に示す条件の範囲にあれば伝送特性の劣化がそれほど大きくはならなかった。さらに最適値にある範囲内の場合には、伝送特性の劣化はほとんど認められなかった。

【0034】(1)入射される光信号波形が、リターンツーゼロ波形である。

(2)リターンツーゼロ波形は、デューティ比が10%以上でかつ80%以下であり、好ましくは40%以上でかつ70%以下である。

(3)リターンツーゼロ波形は、光信号がオンとなっているビットの中で、光強度が最大になる部分と最小になる部分の比である強度比が1.5以上であり、好ましくは2~20の間である。

(4)リターンツーゼロ波形は、光強度が最大となる時間的位置が、1ビット分の時間の50%の位置に限定されない。具体的には、通常のリターンツーゼロ波形は50%の位置に限定されるのに対し、本実施形態では1ビット分の時間のいずれの位置に存在しても良い。

【0035】さらに、このようなリターンツーゼロ波形は、デューティ比が10%以上でかつ80%以下であること、強度比が1.5以上であること、光強度が最大となる時間的位置が1ビット分の時間の50%の位置に限定されないことの内、少なくとも2つの特性を有するものであっても良いことが明らかになった。

【0036】図11に本発明を実施した場合の第3の実施形態を示す。光波長多重信号を伝送する光ファイバ1*

$$Rej \geq (30 + 10 \log_{10} (n-1) + 10 \log_{10} m) / 2 \text{ (dB)}$$

式(1)

ただし、Rejは他波長阻止比、nは波長多重信号の波長数、mは光通信伝送路中に用いられる分散スロープ補償回路の台数である。

【0040】上記参考文献には、ある信号波長にそれと同じ波長の干渉信号がかぶさる場合、干渉信号のパワーが信号のパワーより30dB以上小さければ、クロストークによる劣化がほとんど生じないことが示されている。すなわち、波長分離して処理した後に多重するところのアレイ光導波路型波長多重回路4では、信号波長が通過してきた経路とは異なる経路を通過してきた信号波長が干渉信号としてかぶさることになる。この干渉信号

*に所定長毎に光増幅器2が設けられ、さらに長い所定長毎に波長分割光処理装置12が設けられる。図中、波長分割光処理装置12に付された添字は、入力から数えて何台目であるかを示す。ここでは、3dB帯域幅が1.2nmであり、0.3dB帯域幅が0.4nmである。また、フラットトップ型アレイ光導波路を波長分割光処理装置12の中に使用する。光伝送路中に波長分割光処理装置12が10台使用されているので、光信号はフラットトップ型アレイ光導波路を20回通過することとなる。図12にフラットトップ型アレイ光導波路の通過特性の台数依存性を示す。20台通過後においても、十分な平坦性が維持されていることがわかる。これに対し、フラットトップ型でないアレイ光導波路を使用した場合の、通過特性の台数依存性を図13に示す。20台も通過すると非常にピーキーな特性になってしまうことがわかる。このようなピーキーな通過特性は、光信号を劣化させてしまうが、図12のような平坦性が維持されていれば、光信号劣化はない。

【0037】また、アレイ光導波路の他波長阻止特性が理想的でないことにより、他チャンネルからのコヒーレントクロストークが発生するが、コヒーレントクロストークを30dB以下にすればペナルティは許容範囲内に収まることが知られている(参考文献:宮川他、1996年電子情報通信学会総合大会、SB-11-7)。図11に示すようにアレイ光導波路が複数個使用されると、等価的にクロストーク量が增大するが、下記に示す式(1)のような他波長阻止比(Rejection) Rejを満たせば、光伝送路全体で被るクロストークは30dB以下に収まるので、コヒーレントクロストークによる特性劣化が発生しないので、伝送特性が改善される。

【0038】すなわち、式(1)はアレイ光導波路型波長分離回路3とアレイ光導波路型波長多重回路4の、透過する波長と阻止される波長のパワーの比である他波長阻止比Rejに係る式である。

【0039】

【数2】

は、(信号波長-1)波だけあることから、その分、他波長阻止比を押し上げることになる(式中、nに係る項)。また、分散スロープ補償回路等の光処理回路が光通信伝送路中に複数個存在すると、その分干渉信号が累積することになり、同様に他波長阻止比を押し上げることになる(式中、mに係る項)。

【0041】図14に本発明を実施した場合の第4の実施形態を示す。光波長多重信号を伝送する光ファイバ1に所定長毎に光増幅器2が設けられ、さらに所定長毎に波長分割光処理装置12が設けられる。この波長分割光処理装置12の挿入間隔は、光増幅器2の挿入間隔に等

しいか、若しくはその整数倍となるようにする。すなわち、1 倍のときは各中継器毎に光増幅器 2 と共に波長分割光処理装置 12 が中継器に内蔵される場合であり、最も少なく設ける場合は全光伝送路に 1 台ということになる。具体的には、9000 km 程度の光伝送路では例えば 1000 km 毎に設け、1000 km 程度の光伝送路では例えば全中継器に挿入しても全光伝送路に 1 台としても良い。

【0042】この波長分割光処理装置 12 は、波長多重信号分離用のアレイ光導波路型波長多重分離回路 3、波長多重信号多重用のアレイ光導波路型波長多重分離回路 4、分散等化素子 5、自動出力制御回路を内蔵した光増幅器 15 により構成される。分散等化素子 5、光増幅器 15 の添字は、波長多重信号のチャンネル番号を示す。光ファイバ 1、光増幅器 2 で構成された光増幅伝送路の、増幅特性の波長依存性は、光ファイバ 1、光増幅器 2 の経年劣化によって変化するので、各光波長多重信号のパワーは、時間と共に変動していき、最悪の場合には伝送不良を生じる信号波長が発生すると考えられる。ところが本実施形態では、利得波長依存性補償素子として自動出力制御回路を内蔵した光増幅器を使用しているので、信号波長間のパワーの変動が光増幅器 15 によって一定に保たれるため、経年劣化による影響を回避でき、極めて耐久力のある光伝送路を構築できる。

【0043】また、分散等化素子を自動出力制御回路を内蔵した光増幅器より前段に挿入していることにより、分散等化素子自体の経年劣化の影響も回避できる。

【0044】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のうち第 1 の発明は、1 つの光入力端から入力された光信号を分離して多数の光出力端から出力する第 1 のアレイ光導波路と、この第 1 のアレイ光導波路で分離された光信号をそれぞれ補正する複数の補正手段と、この補正手段から出力され、多数の光入力端からそれぞれ入力された光信号を多重して 1 つの光出力端から出力する第 2 のアレイ光導波路とを備えたので、第 1 のアレイ光導波路によって 1 波長毎に分離されたところで分散補償と利得補償とを行い、第 2 のアレイ光導波路によって再び全波長を多重する。このとき、アレイ光導波路は、通過帯域外では少なくとも 20 dB 程度のリジクションを有するため、通過帯域以外の光雑音が抑圧され、光雑音累積が低減される等の効果を奏する。

【0045】また、第 2 の発明は、透過波長特性が平坦なフラットトップ形状をしているアレイ光導波路を用いた波長分割光処理装置をある一定周期で伝送路中に挿入したので、アレイ光導波路が通過帯域外では少なくとも 20 dB 程度のリジクションを有することから、通過帯域以外の光雑音が抑圧され、光雑音累積が低減され、また光増幅器を使用した光伝送路中に複数個挿入することで、光波長多重信号の伝送特性が大幅に改善する等の

効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る波長分割光処理装置の構成を説明するブロック図である。

【図 2】アレイ光導波路の透過特性の一例を示す特性図である。

【図 3】本発明を実施した場合の第 1 の実施形態の光通信伝送路を説明するブロック図である。

【図 4】本発明を実施した場合の第 2 の実施形態の光伝送実験系を説明するブロック図である。

【図 5】本発明を用いない場合の第 2 の実施形態の実験の各信号チャンネルにおける累積波長分散と距離の関係を説明する特性図である。

【図 6】本発明を用いた場合の第 2 の実施形態の実験の各信号チャンネルにおける累積波長分散と距離の関係を説明する特性図である。

【図 7】本発明を用いない場合の第 2 の実施形態の実験の各信号チャンネルにおける符号誤り率の距離依存性の測定結果を説明する特性図である。

【図 8】本発明を用いた場合の第 2 の実施形態の実験の各信号チャンネルにおける符号誤り率の距離依存性の測定結果を説明する特性図である。

【図 9】本発明を用いない場合の第 2 の実施形態の実験の 6642 km 伝送後の光スペクトルの測定結果を説明する特性図である。

【図 10】本発明を用いた場合の第 2 の実施形態の実験の 6642 km 伝送後の光スペクトルの測定結果を説明する特性図である。

【図 11】本発明に係る第 3 の実施形態の光通信伝送路を説明するブロック図である。

【図 12】本発明に係る式 (1) を満足するアレイ光導波路の透過特性の透過台数依存性を説明する特性図である。

【図 13】本発明に係る式 (1) を満足しないアレイ光導波路の透過特性の透過台数依存性を説明する特性図である。

【図 14】本発明に係る第 4 の実施形態の光通信伝送路を説明するブロック図である。

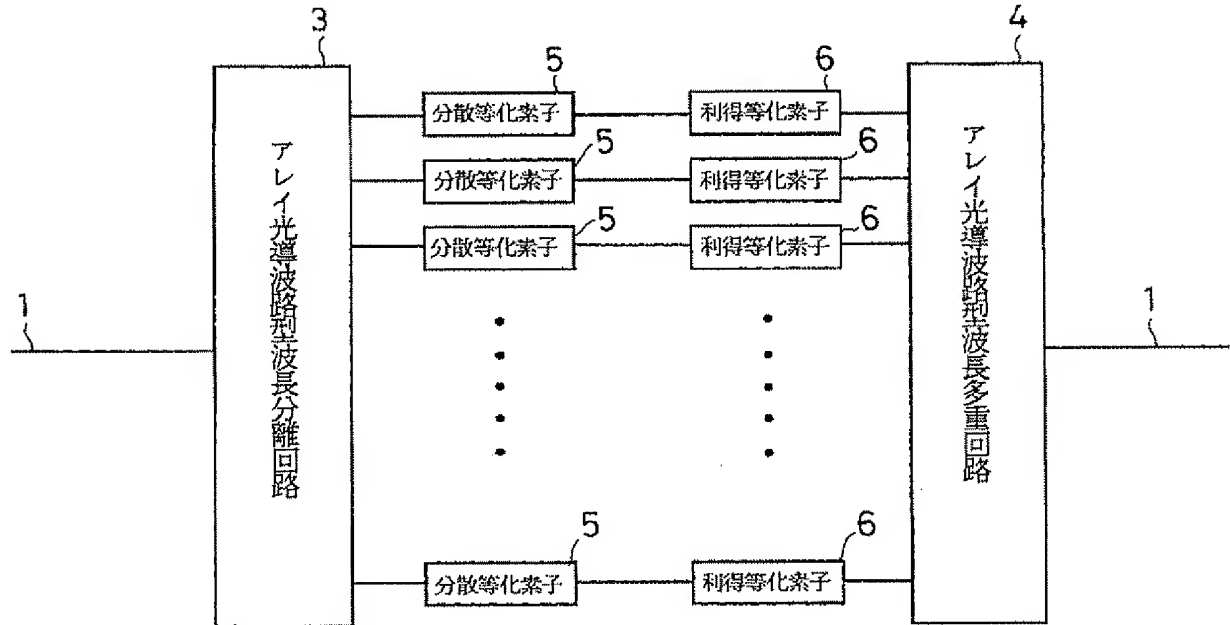
【符号の説明】

- 1 光ファイバ
- 2 光増幅器
- 3 アレイ光導波路型波長分離回路
- 4 アレイ光導波路型波長多重回路
- 5 分散等化素子
- 6 利得等化素子
- 7 光送信器
- 8 光ファイバカプラ
- 9 光増幅中継器
- 10 分散シフトファイバ
- 11 1.3 μ m 零分散ファイバ

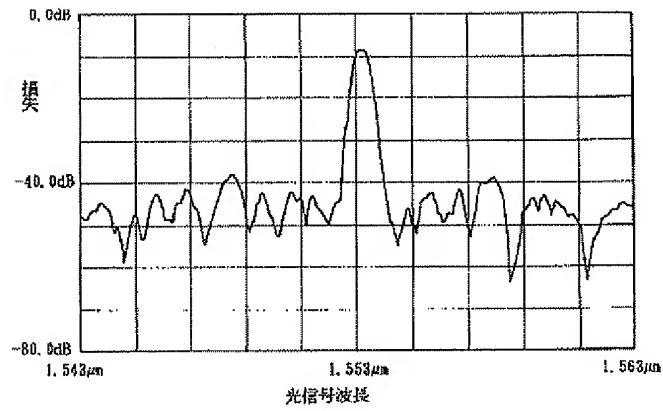
12 波長分割光処理装置
13 光フィルタ

* 14 光受信器
* 15 光増幅器

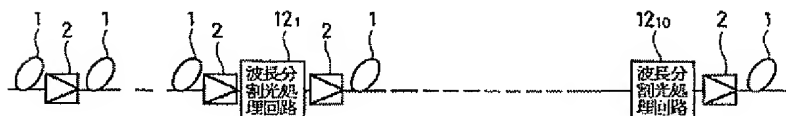
【図1】



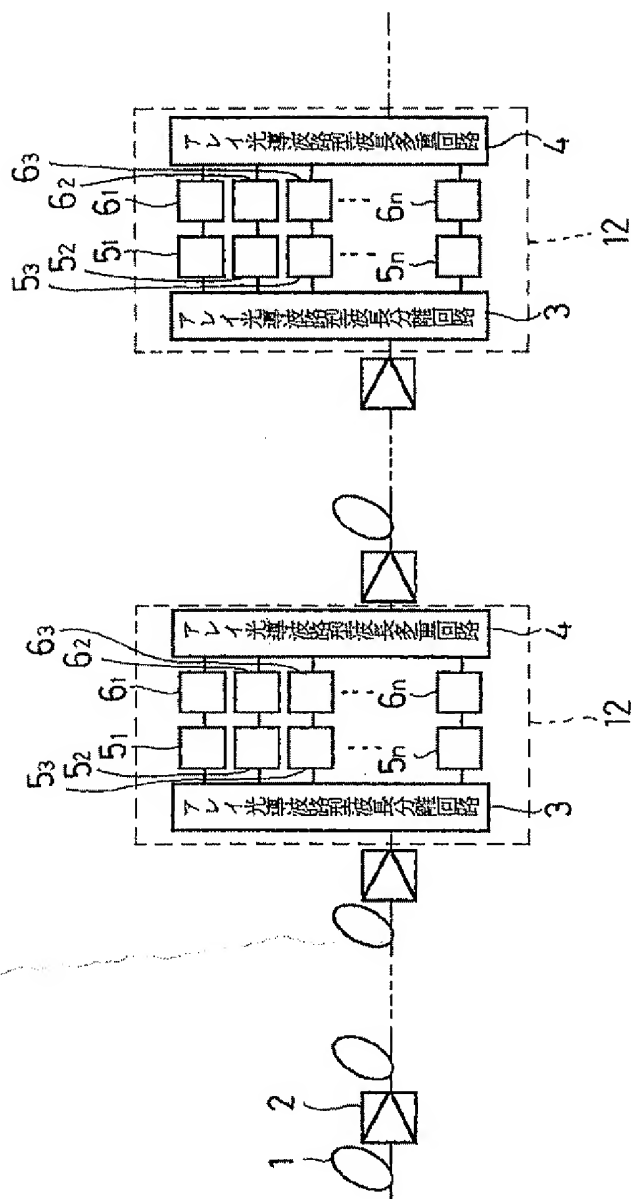
【図2】



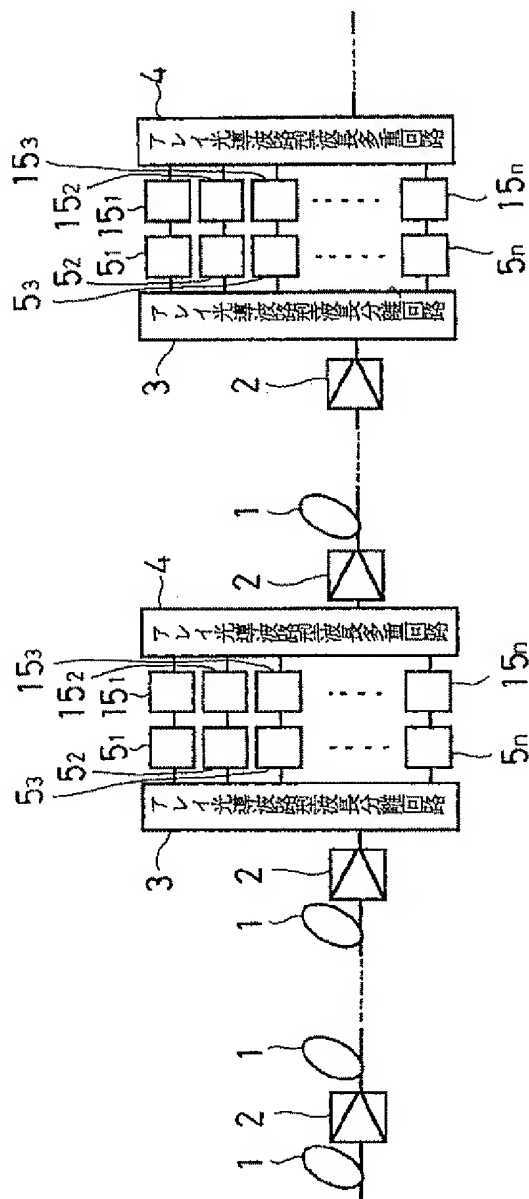
【図11】



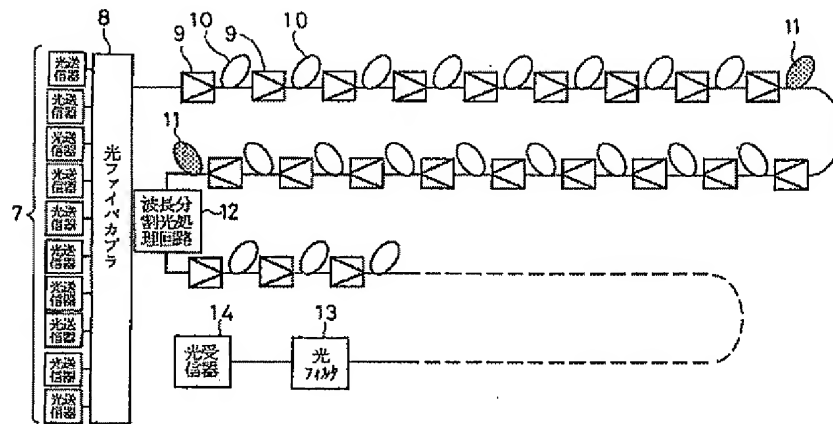
【図3】



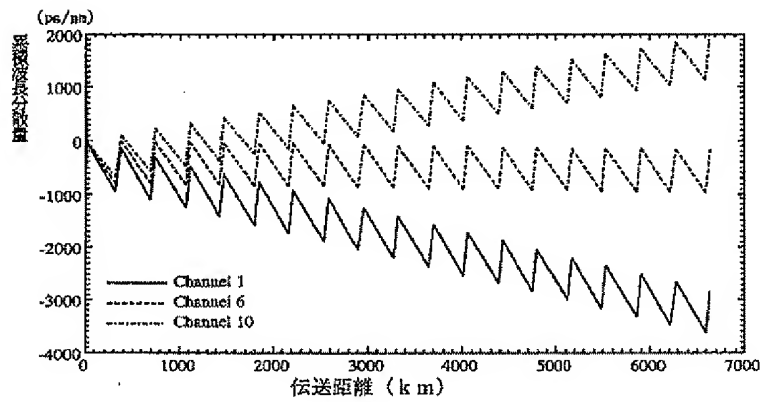
【図14】



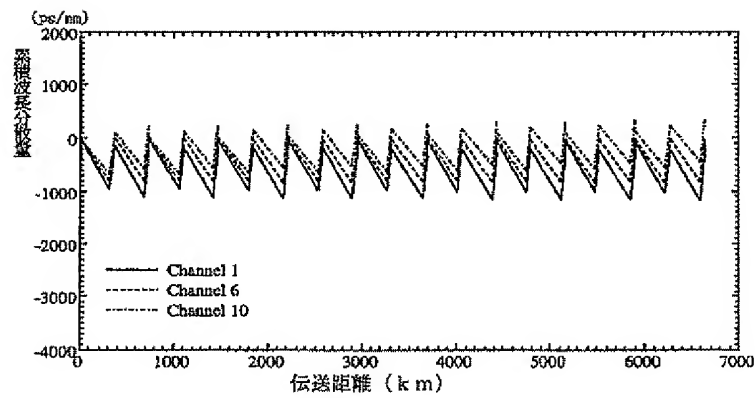
【図4】



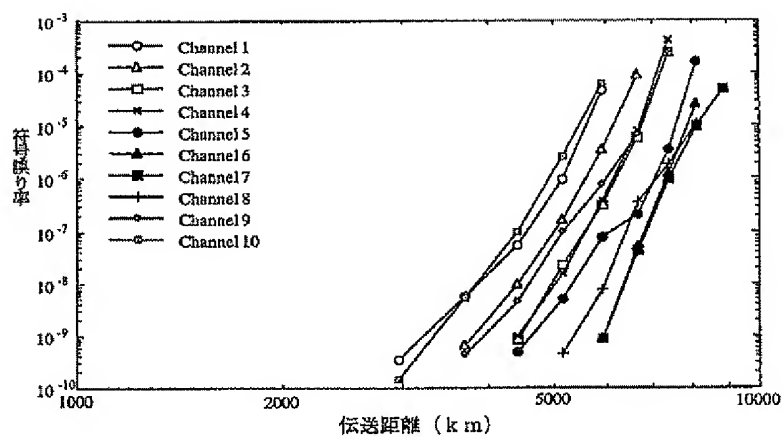
【図5】



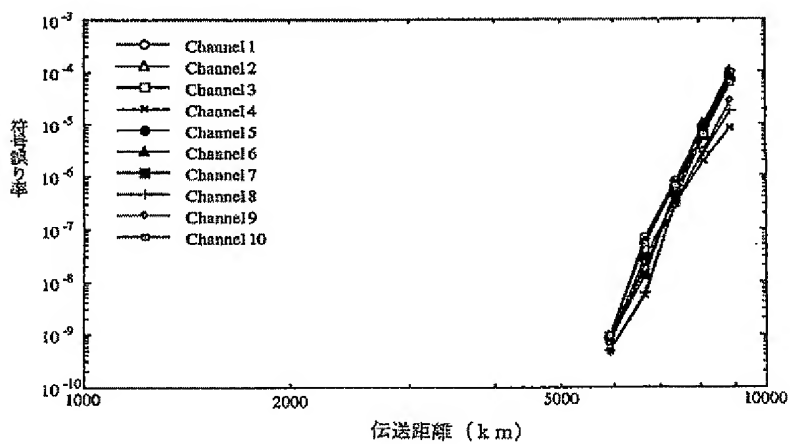
【図6】



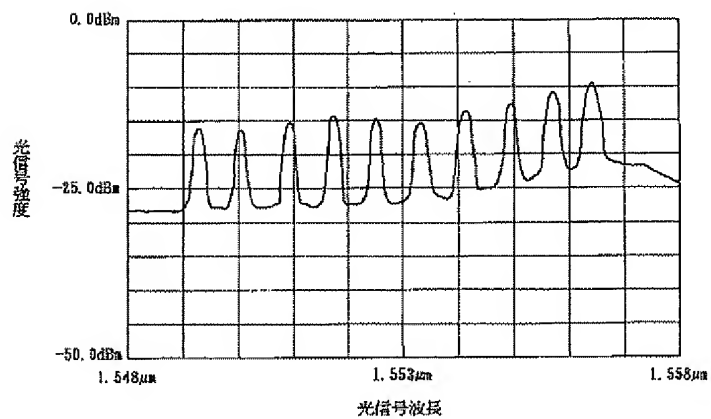
【図7】



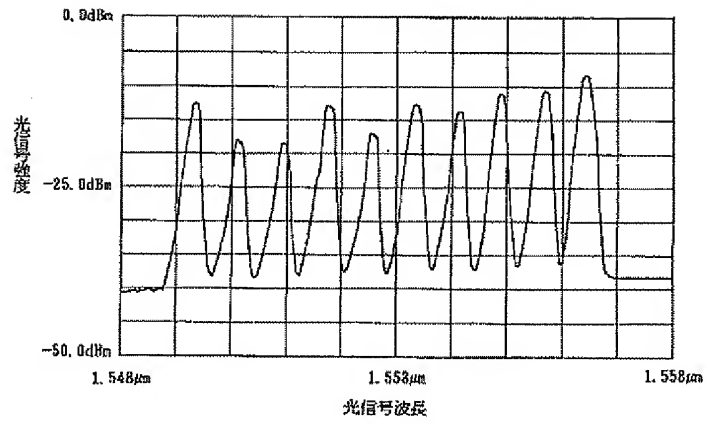
【図8】



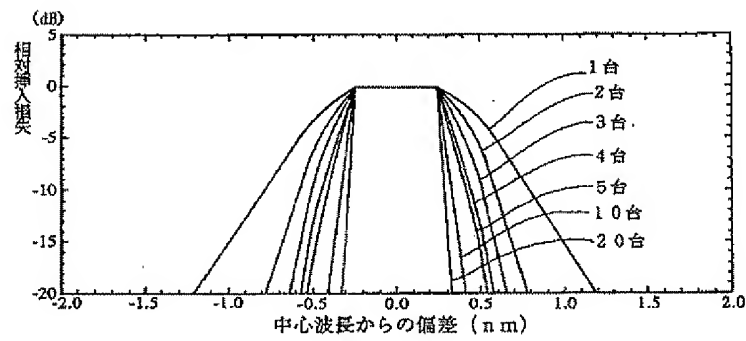
【図9】



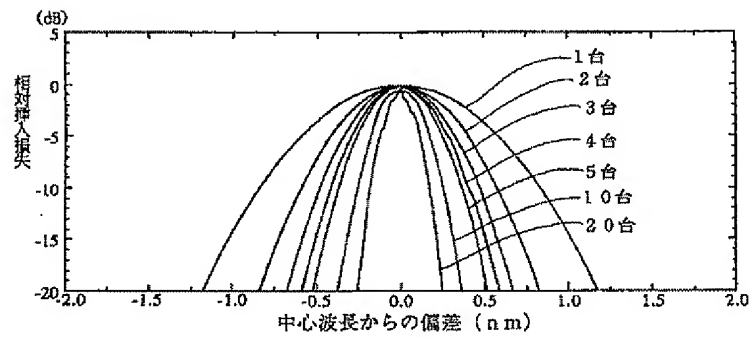
【図10】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 4 B 10/26

10/14

10/04

10/06

(72)発明者 山本 周

東京都新宿区西新宿 2 丁目 3 番 2 号 国際

電信電話株式会社内

(72)発明者 秋葉 重幸

東京都新宿区西新宿 2 丁目 3 番 2 号 国際

電信電話株式会社内